

**А.І. Бойко, проф., д-р. техн. наук, І.С. Харьковський, асп.**

*Національний аграрний університет*

**М.О. Свірень, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Дослідження зусиль, які діють на робочу частину наральникових сошників

В статті розглянуті епюри напруження, які діють на робочу частину наральникового сошника. Приведені рівняння для визначення складових зусиль опору переміщення і сили, які обумовлюють зношування поверхонь сошника.

**сошник, зусилля, напруження, ріжуча кромка, лобова поверхня**

Наральниковий сошник представляє собою складну просторову конструкцію, яка має поверхні різноманітно орієнтовані в просторі (рис. 1)

Окремі елементи сошника виконують свої специфічні функції, однак в цілому сошник готує ґрунт для внесення насіння культури, що висівається. Руйнування ґрунту починається ріжучою кромкою. Потім пласт, що відділяється переміщується по передній лобовій поверхні і її боковим розгалуженням. В результаті зношування в нижній частині наральника утворюється додаткова тильна задня поверхня, орієнтована зустрічно напрямленню руху наральника в ґрунті.

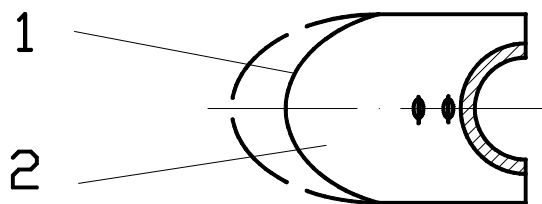
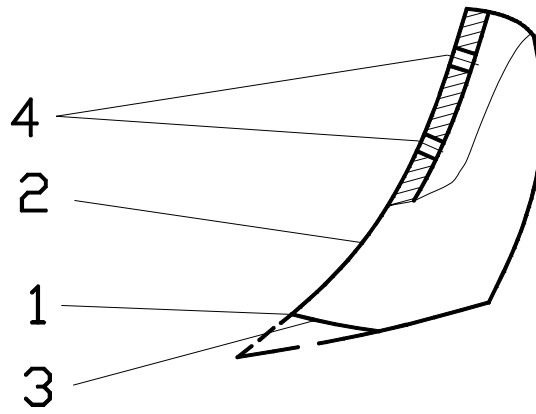
Це викликає виникнення небажаних зусиль виглиблення сошника з ґрунту. Але в той же час наральник тильною поверхнею додатково ущільнює дно борозни.

Таким чином на сошнику, що працює можна виділити три характерні ділянки: ріжучу кромку, лобову (передню) і тильну (задню) поверхні. Кожна з них вносить свій вклад в підготовку ґрунту до посіву.

Найбільші навантаження руйнування ґрунту приходяться на гостро виступаючу носову частину наральника і особливо на його ріжучу кромку. Вона зустрічає перший не зруйнований пласт ґрунту і на неї діють максимальні зусилля. Ріжуча кромка навіть нового наральника має кінцеві конструктивні розміри, які забезпечують його ефективну роботу і можливість якісної термообробки без перепалювання при виготовленні. В початковій стадії експлуатації конструктивна форма ріжучої кромки швидко переходить в технологічну округлу, котра характерна для довготривалої роботи наральника.

Аналіз розподілення зносу по передній (лобовій) і тильній (задній) поверхням вказують на його нерівномірність. Найбільші величини зносу спостерігаються на ділянках, які прилягають до ріжучої кромки з поступовим убаванням по мірі віддалення від неї. Такі розподілення зносу по робочим поверхням наральникового сошника підтверджують гіпотезу приведену в роботі [1] по вивченню зношування лемешів, котрі працюють в умовах зношування необробленим ґрунтом.

Таким чином аналіз зношування робочих сошників, виготовлених із монометалічного однорідного матеріалу без ущільнення окремих ділянок, дають можливість побудування і аналітичного уявлення діючих навантажень. Епюра напружень в розкладені на проекції сошника представлена на рис. 2, де також дані основні геометричні параметри сошника і представлені ділянки, які найбільше зношуються.



1 – ріжуча кромка; 2 – лобова поверхня; 3 – тильна (задня) поверхня;..  
2.місця кріплення сошника до стійки

Рисунок 1 – Наральниковий сошник і його елементи

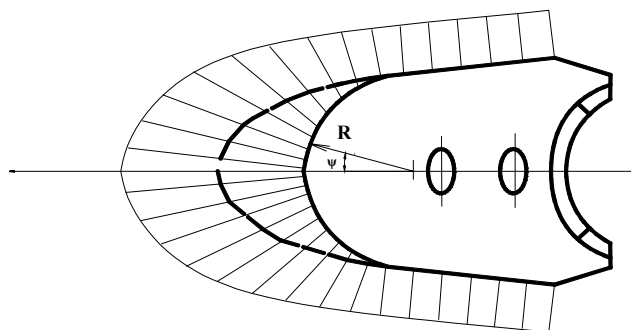
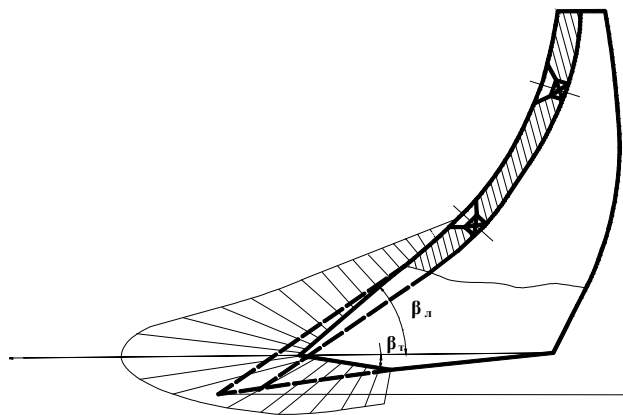


Рисунок 2 – Епюра напружень, які діють на сошник в процесі роботи

Аналогічно з руйнуванням рослинної маси [2], але враховуючи що ґрунт відрізняється в'язко-пластичними властивостями, приймемо, що його руйнування відбувається в один акт під дією створюваних наральником граничних напружень.

Для аналізу зусиль, які діють на ріжучу кромку, виділимо площадку (рис. 3) і прикладемо до неї елементарні зусилля. Для зручностей побудування зусилля на рисунку представлені в виді реакцій.

В загальному виді форма ріжучої кромки в розрізі перпендикулярному до твірної леза представляється рівнянням другого порядку. Для спрощення рішення задачі і використання на практиці прийнятого засобу кількісної оцінки товщини ріжучої кромки вона в розрізі може бути описана частиною кола радіуса  $\rho$  (рис. 3). Тоді довжина дуги елементарної площадки буде дорівнювати

$$dl = \rho \cdot d\xi, \quad (1)$$

де  $\rho$  - радіус заокруглення ріжучої кромки при зносі;

$\xi$  - кут повороту радіуса заокруглення ріжучої кромки.

Елементарне зусилля  $dP$  має напрямлення, яке співпадає з вектором швидкості руху сошника в ґрунті. Воно може бути розкладене на складові відповідно векторного рівняння

$$d\vec{P} = d\vec{N} + d\vec{F} + d\vec{T},$$

де  $d\vec{N}$  - нормальна складова елементарної сили від тиску ґрунту на елементарну площадку;  $d\vec{T}$  - тангенціальна складова елементарної сили (сила тертя перпендикулярна твірній леза);  $d\vec{F}$  - тангенціальна складова елементарної сили (сила тертя направлена вздовж твірної леза).

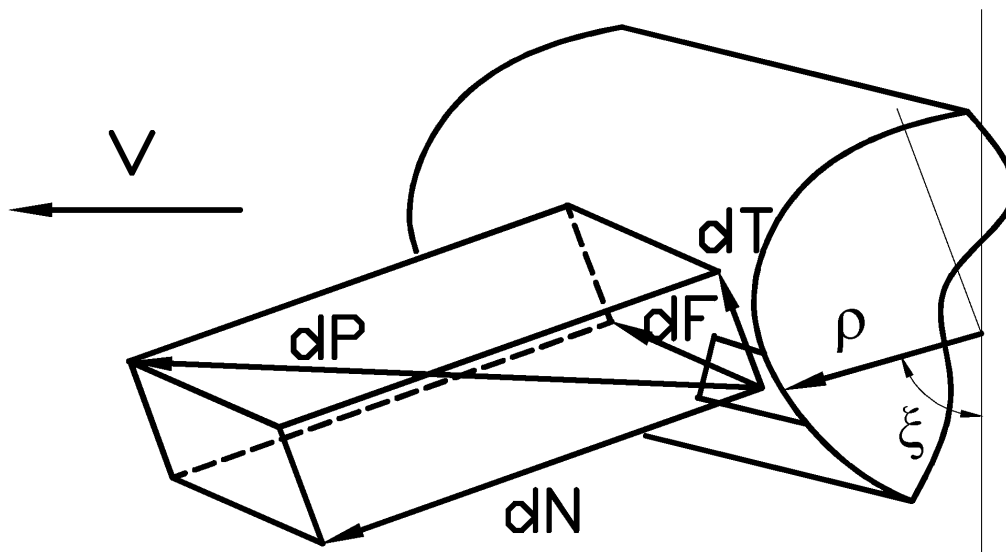


Рисунок 3 – Зусилля, які діють на елементарну площадку ріжучої кромки наральникового сошника

Напруження, які діють на ріжучу кромку по її периметру розподілені не рівномірно (рис. 2). На характер їх розподілення вказують експериментальні дані приведені в дослідженнях [3,4]. В загальному випадку епюра напружень залежить як від геометричних параметрів леза, так і від фізико-механічних властивостей матеріалів, які піддаються руйнуванню. При цьому можуть бути використані різноманітні закони розподілення напружень, однак як вказується в роботі [2] з достатньою для практичних цілей і теоретичного аналізу точністю може бути прийнятим синусоїдальний закон

зміни напружень в залежності від центрального кута повороту радіуса, який визначає товщину ріжучої кромки.

Таким чином, епюра напружень, яка діє на ріжучу кромку представлена графічним зображенням на рисунку 2. В загальному випадку елементарне зусилля, яке діє на вільно розташовану елементарну площадку, яка належить ріжучій кромці дорівнює

$$dP = \sigma_0 \cdot dS,$$

де  $\sigma_0$  – граничні напруження руйнування ґрунту;

$dS$  – площа елементарної площадки.

Елементарна площа визначається як добуток довжин елементарних дуг в вертикальній і горизонтальній площинах

$$dS = \rho \cdot d\xi \cdot R \cdot d\psi,$$

де  $R$  – радіус заокруглення наральникового сошника в горизонтальній площині;

$\psi$  - кут повороту радіуса  $R$  заокруглення сошника в горизонтальній площині.

Із рис. 3 видно, що в вертикальній площині відповідно прийнятому закону напруження на ріжучій кромці змінюються наступним чином

$$\sigma_\xi = \sigma_0 \cdot \sin \xi.$$

При цьому границю зміни кута повороту радіуса заокруглення ріжучої кромки, яка визначає його товщину являються межі

$$\pi - \beta_n \geq \xi \geq \beta_m,$$

де  $\beta_n$  - кут нахилу лобової поверхні;

$\beta_m$  - кут нахилу тильної поверхні.

В наслідок того, що елементарна площадка ріжучої кромки змінює свою орієнтацію не тільки в вертикальній площині, але й в горизонтальній, напруження на ній також будуть змінюватися. Враховуючи симетрію наральника в горизонтальній проекції і вибране розташування вісі проектування зусиль, яка співпадає з віссю симетрії, напруження на елементарній площадці буде дорівнювати

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \sin \xi \cdot \cos \psi.$$

Кут повороту радіуса  $R$  заокруглення сошника в горизонтальній площині змінюється в межах

$$\frac{\pi}{2} - \gamma \geq \psi \geq 0,$$

де  $\gamma$  – кут нахилу бокової поверхні наральника в горизонтальній площині.

З урахуваннями сказаного елементарне зусилля, яке діє на вільно розташовану елементарну площадку ріжучої кромки наральникового сошника, визначається рівнянням

$$dP = \sigma_0 \cdot \sin \xi \cdot \cos \psi \cdot \rho \cdot d\xi \cdot R \cdot d\psi.$$

Для аналізу зусиль, що діють на елементи конструкції наральника, які визначають його експлуатаційні показники і надійність, важливе значення мають їх абсолютні величини. В загальному випадку на будь-яку елементарну площадку робочих поверхонь сошника діють елементарні зусилля  $dP$ , котрі доцільно розкласти на три взаємно перпендикулярні складові. Для ріжучої кромки це будуть зусилля, які діють по нормалі до поверхні  $dN_{p.k.}$ , вздовж твірної ріжучої кромки  $dF_{p.k.}$  і перпендикулярно їй в площині ріжучої кромки  $dT_{p.k.}$  (рис. 3).

Враховуючи зміни орієнтації профіля в горизонтальній площині, де кут атаки ріжучої кромки масою, що руйнується, не постійний і дорівнює  $\psi$ , а також те, що відповідно літературним даним досліджень [5] для ґрунтової маси кут між

направленням руху частин по поверхні робочого органу і твірної цієї поверхні складає  $90^\circ - \psi$ , отримана наступна система рівнянь

$$\begin{cases} dN_p = dP \cdot \cos \psi; \\ dT_p = dP \cdot \sin \psi \cdot \cos \psi; \\ dF_p = dP \cdot \sin^2 \psi. \end{cases}$$

Після підставлення значення елементарної сили маємо

$$\begin{cases} dN_p = \sigma_0 \cdot \sin \xi \cdot \cos \psi \cdot \rho \cdot d\xi \cdot R \cdot d\psi \cdot \cos \psi; \\ dT_p = \sigma_0 \cdot \sin \xi \cdot \cos \psi \cdot \rho \cdot d\xi \cdot R \cdot d\psi \cdot \sin \psi \cdot \cos \psi; \\ dF_p = \sigma_0 \cdot \sin \xi \cdot \cos \psi \cdot \rho \cdot d\xi \cdot R \cdot d\psi \cdot \sin^2 \psi. \end{cases}$$

Провівши перетворення в інтегральному вигляді, можна записати

$$\begin{cases} N_p = 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \int_{\xi=\beta_m}^{\xi=\pi-\beta_n} \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \sin \xi \cdot d\xi \cdot \cos^2 \psi \cdot d\psi \\ T_p = 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \int_{\xi=\beta_m}^{\xi=\pi-\beta_n} \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \sin \xi \cdot d\xi \cdot \sin \psi \cdot \cos^2 \psi \cdot d\psi \\ F_p = 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \int_{\xi=\beta_m}^{\xi=\pi-\beta_n} \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \sin \xi \cdot d\xi \cdot \sin^2 \psi \cdot \cos \psi \cdot d\psi \end{cases} \quad (1)$$

Нормальну складову сили Р можна визначити проінтегрувавши перше рівняння системи (1). Тоді будемо мати

$$\begin{aligned} N_p &= 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot \left( -\cos \xi \Big|_{\xi=\beta_m}^{\xi=\pi-\beta_n} \right) \cdot \left( \frac{1}{2} \psi \Big|_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} + \frac{1}{4} \sin 2\psi \Big|_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \right) = \\ &= 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot [-\cos(\pi - \beta_n) + \cos \beta_m] \cdot \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{2} - \gamma - 0 \right) + \frac{1}{4} \sin(\pi - 2\gamma - 0) \right] = \\ &= 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot (\cos \beta_n + \cos \beta_m) \cdot \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\gamma}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\gamma \right) = \\ &= \frac{1}{2} \sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot (\cos \beta_n + \cos \beta_m) \cdot (\pi - 2\gamma + \sin 2\gamma). \end{aligned}$$

Таким чином, нормальна сила, яка діє на ріжучу кромку наральникового сошника, визначається рівнянням

$$N_p = \frac{\sigma_0}{2} \cdot \rho \cdot R \cdot (\cos \beta_n + \cos \beta_m) \cdot (\pi - 2\gamma + \sin 2\gamma).$$

Тангенціальна складова сили Р визначається інтегруванням другого рівняння системи (1).

$$\begin{aligned}
T_p &= 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \int_{\xi=\beta_m}^{\xi=\pi-\beta_n} \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \sin \xi \cdot d\xi \cdot \sin \psi \cdot \cos^2 \psi \cdot d\psi = \\
&= 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot \left( -\cos \xi \Big|_{\xi=\beta_m}^{\xi=\pi-\beta_n} \right) \cdot \left( -\frac{1}{3} \cos^3 \psi \Big|_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \right) = \\
&= 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot [ -\cos(\pi-\beta_n) + \cos \beta_m ] \cdot \left[ -\frac{1}{3} \cos^3 \left( \frac{\pi}{2} - \gamma \right) + \cos^3 0 \right] = \\
&= 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot \left[ \cos \beta_n - \cos \beta_m \left( 1 - \frac{1}{3} \sin^3 \gamma \right) \right].
\end{aligned}$$

Як видно з приведених розрахунків тангенціальна складова зусилля на ріжучу кромку дорівнює

$$T_p = 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot (\cos \beta_n - \cos \beta_m) \cdot \left( 1 - \frac{1}{3} \sin^3 \gamma \right).$$

Сила, яка діє вдовж твірної ріжучої кромки, визначається із третього рівняння системи (1)

$$\begin{aligned}
F_p &= 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \int_{\xi=\beta_m}^{\xi=\pi-\beta_n} \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \sin \xi \cdot d\xi \cdot \sin^2 \psi \cdot \cos \psi \cdot d\psi = \\
&= 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot \left( -\cos \xi \Big|_{\xi=\beta_m}^{\xi=\pi-\beta_n} \right) \cdot \left( \frac{1}{3} \sin^3 \psi \Big|_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \right) = \\
&= 2\sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot (\cos \beta_n + \cos \beta_m) \cdot \frac{1}{3} \left[ \sin^3 \left( \frac{\pi}{2} - \gamma \right) - \sin^3 0 \right] = \\
&= \frac{2}{3} \sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot (\cos \beta_n + \cos \beta_m) \cdot \cos^3 \gamma.
\end{aligned}$$

В результаті проведених розрахунків сила вдовж твірної кромки наральникового сошника складає

$$F_p = \frac{2}{3} \sigma_0 \cdot \rho \cdot R \cdot (\cos \beta_n + \cos \beta_m) \cdot \cos^3 \gamma.$$

Отримані складові зусиль на ріжучій кромці обумовлені процесом відділення частини ґрунту, що відділяється від загального моноліту. Вони визначають основні зусилля взаємодії наральникового сошника з ґрунтом.

Крім того, саме під дією цих сил відбувається зношення і втрата початкової геометрії наральника. Максимальне зношення під дією встановлених сил спостерігається на носку, переднім елементом якого являється ріжуча кромка.

Відокремлена від моноліту частина ґрунту переміщується по лобовій передній поверхні сошника. В горизонтальній проекції ця поверхня має деякий розвиток. Задача лобової поверхні в роботі сошника полягає в підйомі і зсуву в сторони відділеної частини ґрунту. В результаті цього готується борозна для послідуєчого внесення насіння, що висівається.

Як видно із епюри напружень (рис. 2) на передню лобову поверхню наральника діють зусилля, які поступово знижуються по мірі зменшення глибини борозни.

По аналогії з ріжучою кромкою виділимо на передній боковій поверхні елементарну площадку (рис. 4).

Елементарну силу  $dP$  розкладемо на три взаємно перпендикулярні напрямки: нормальний, тангенціальний і перпендикулярний до тангенціального в площині поверхні лобової поверхні наральника.

Потрібно відмітити, що на даній ділянці (до точок кріплення) лобова поверхня представляє собою циліндр. Зусилля вдовж твірної циліндра рівномірно лінійно спадає від максимального значення на межі, що граничить з ріжучою кромкою, до мінімального (нульового) в нижній точці кріплення наральника.

Для встановлення закономірності зміни зусиль вдовж лобової поверхні розглянемо фрагмент цієї поверхні представленої на рисунку 5.

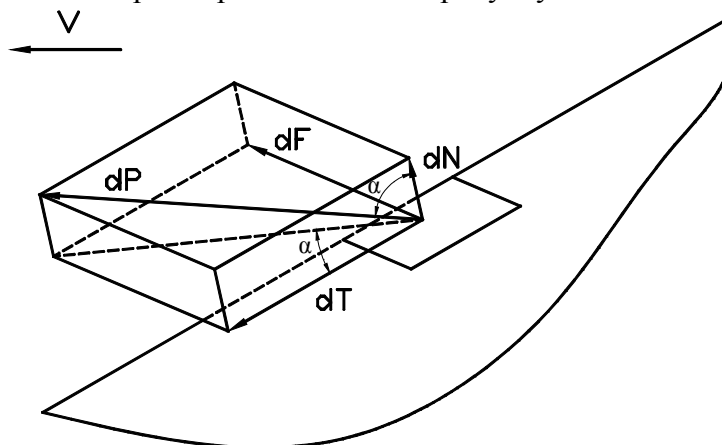


Рисунок 4 – Елементарна площадка (передньої) поверхні сошника і зусилля, які прикладаються до неї

Ріжуча кромка переходить в лобову поверхню в точці спряження О. В цій точці напруження в вертикальній площині дорівнює

$$\sigma_{0e} = \sigma_0 \cdot \sin(\pi - \beta_n) = \sigma_0 \cdot \sin \beta_n$$

Це максимально можливе напруження, яке діє на лобову поверхню. Внаслідок лінійності його зменшення, можна записати

$$\sigma_e = \sigma_0 \cdot \sin \beta_n \cdot \frac{c-l}{c}$$

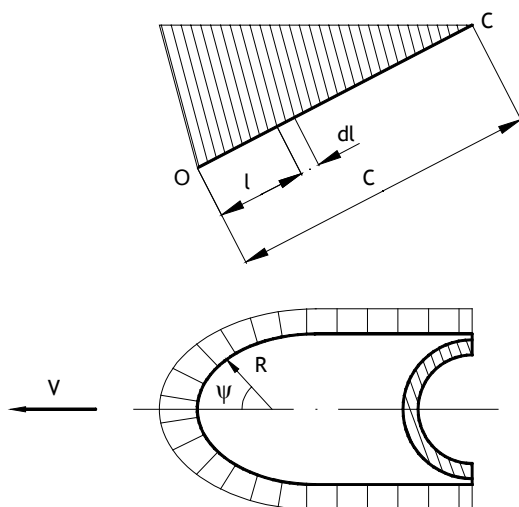


Рисунок 5 – Схема для визначення закономірності зміни зусиль на лобовій поверхні наральника

Однак напруження змінюється не лише в вертикальній, але й в горизонтальній площині. З врахуванням цього в загальному випадку воно буде дорівнювати

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\pi} \cdot \frac{c-l}{c} \cdot \cos \psi$$

Відповідно площа елементарної площадки на яку діє напруження визначається рівнянням

$$dS = dl \cdot R \cdot d\psi.$$

Тоді елементарні зусилля дорівнюють

$$dP_{\pi} = \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\pi} \cdot \frac{c-l}{c} \cdot \cos \psi \cdot dl \cdot R \cdot d\psi.$$

В розкладанні на складові по осям проекцій запишемо

$$\begin{cases} dN_{\pi} = dP \cdot \cos \alpha; \\ dT_{\pi} = dP \cdot \cos(90 - \alpha) \cdot \cos \alpha; \\ dF_{\pi} = dP \cdot \cos(90 - \alpha) \cdot \sin \alpha, \end{cases} \quad (2)$$

де  $\alpha$  – кут атаки елементарної площадки масою, що руйнується.

Із геометричних побудов видно, що

$$\alpha = \psi$$

Тоді систему (2) виконавши перетворення можна записати у вигляді

$$\begin{cases} dN_{\pi} = dP \cdot \cos \psi; \\ dT_{\pi} = \frac{1}{2} dP \cdot \sin 2\psi; \\ dF_{\pi} = dP \cdot \sin \psi. \end{cases}$$

Або підставивши значення елементарної сили маємо

$$\begin{cases} dN_{\pi} = \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\pi} \cdot \frac{c-l}{c} \cdot \cos \psi \cdot dl \cdot R \cdot d\psi \cdot \cos \psi; \\ dT_{\pi} = \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\pi} \cdot \frac{c-l}{2c} \cdot \cos \psi \cdot dl \cdot R \cdot d\psi \cdot \sin 2\psi; \\ dF_{\pi} = \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\pi} \cdot \frac{c-l}{c} \cdot \cos \psi \cdot dl \cdot R \cdot d\psi \cdot \sin \psi. \end{cases}$$

Величини сил визначаються інтегралами

$$\begin{cases} N_{\pi} = \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\pi} \cdot R \int_{l=0}^{l=c} \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \frac{c-l}{c} \cdot dl \cdot \cos^2 \psi \cdot d\psi; \\ T_{\pi} = \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\pi} \cdot R \int_{l=0}^{l=c} \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \frac{c-l}{c} \cdot dl \cdot \cos^2 \psi \cdot \sin \psi \cdot d\psi; \\ F_{\pi} = \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\pi} \cdot R \int_{l=0}^{l=c} \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \frac{c-l}{c} \cdot dl \cdot \sin^2 \psi \cdot \cos^2 \psi \cdot d\psi. \end{cases} \quad (3)$$

Для складової, яка діє по нормалі до лобової поверхні, можна записати



$$\begin{aligned}
N_{\lambda} &= \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \cdot \left[ \int_{l=0}^{l=c} dl - \frac{1}{c} \int_{l=0}^{l=c} l dl \right] \cdot \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \cos^2 \psi \cdot d\psi = \\
&= \frac{1}{2} \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \cdot c \cdot \left[ \frac{1}{2} \psi \Big|_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} + \frac{1}{4} \sin 2\psi \Big|_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \right] = \\
&= \frac{1}{2} \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \cdot c \cdot \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{2} - \gamma \right) + \frac{1}{4} \sin \left( \frac{\pi}{2} - \gamma \right) \right] = \frac{1}{2} \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \cdot c \cdot \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\gamma}{2} + \frac{1}{4} \cos \gamma \right).
\end{aligned}$$

Таким чином, нормальна сила на лобовій передній поверхні наральника визначається рівнянням

$$N_{\lambda} = \frac{1}{8} \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \cdot c_{\lambda} \cdot (\pi - 2\gamma + \cos \gamma).$$

Тангенціальна складова опору входження наральника в ґрунт знаходиться з другого рівняння системи (3) і дорівнює:

$$\begin{aligned}
T_{\lambda} &= \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \int_{l=0}^{l=c} \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \frac{c-l}{c} \cdot dl \cdot \cos^2 \psi \cdot \sin \psi \cdot d\psi = \frac{1}{2} \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \cdot c \cdot \left( -\frac{1}{3} \cos^3 \psi \Big|_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \right) = \\
&= \frac{1}{6} \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \cdot c \cdot [1 - \sin^3 \gamma]
\end{aligned}$$

Значення тангенціальної складової опору входження лобової частини наральника визначається відповідно рівнянням

$$T_{\lambda} = \frac{1}{6} \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \cdot c_{\lambda} \cdot [1 - \sin^3 \gamma]$$

Складова  $F_{\lambda}$ , яка лежить в площині лобової робочої поверхні і перпендикулярна векторам  $N_{\lambda}$  і  $T_{\lambda}$  може бути знайдена із третього рівняння системи (3).

$$\begin{aligned}
F_{\lambda} &= \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \int_{l=0}^{l=c} \int_{\psi=0}^{\psi=\frac{\pi}{2}-\gamma} \frac{c-l}{c} \cdot dl \cdot \sin^2 \psi \cdot \cos \psi \cdot d\psi = \frac{1}{6} \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \cdot c \cdot \sin^3 \psi = \\
&= \frac{1}{6} \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \cdot c \cdot \left[ \sin^3 \left( \frac{\pi}{2} - \gamma \right) - \sin^3 0 \right] = \frac{1}{6} \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R \cdot c \cdot \cos^3 \gamma.
\end{aligned}$$

Виходячи з проведених перетворень сила  $F_{\lambda}$  дорівнює

$$F_{\lambda} = \frac{1}{6} \sigma_0 \cdot \sin \beta_{\lambda} \cdot R_c \cdot c \cdot \cos^3 \gamma$$

В процесі експлуатації наральникових сошників по мірі їх зношування і зміни геометричної форми утворюється нова поверхня – тильна. Вона являється результатом взаємодії наральника з ґрунтом і формується під кутом, який спричиняє виглиблення сошника з ґрунту.

Також як і для робочих поверхонь сошника, зусилля на тильну поверхню можна визначити виходячи з епюри напружень. Якщо прийняти на основі розподілення зносу вдовж тильної поверхні, що напруження розподіляються рівномірно – убуючи починаючи від носової частини сошника і в п – раз зменшуються, то схема навантаження і геометричні параметри тильної поверхні представляються схематично зображенням на рисунку 6.

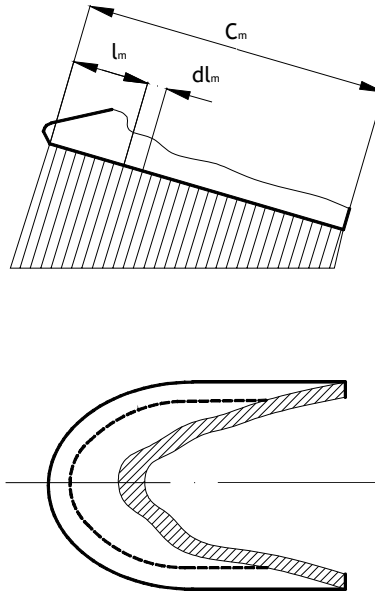


Рисунок 6 – Схема навантаження тильної (задньої) поверхні наральникового сошника

Елементарне зусилля, яке діє на елементарну площадку, яка належить тильній поверхні, визначається добутком

$$dP_m = \sigma_m \cdot dS$$

Так як напруження на тильну поверхню зменшуються від максимального до мінімального свого значення то можна записати

$$dP_m = \sigma_{\max m} \frac{c_m - \frac{n-1}{n} l_m}{c_m} dl_m \cdot dS; \quad (4)$$

де  $c_m$  – довжина тильної поверхні.

Елементарна площадка тильної поверхні з врахуванням кінцевої товщини наральника дорівнює

$$dS = h \cdot dl,$$

де  $h$  – товщина наральника.

Максимальне значення напруження, яке діє на тильну поверхню наральника, знаходиться на границі спряження тильної поверхні з ріжучою кромкою і дорівнює

$$\sigma_{\max m} = \sigma_0 \cdot \sin \beta_m$$

Підставивши значення елементарної площадки і максимального напруження в рівняння (4) отримаємо

$$dP_m = \sigma_0 \cdot \sin \beta_m \frac{c_m - \frac{n-1}{n} l_m}{c_m} h \cdot dl_m$$

Як і в попередніх випадках для ріжучої кромки і лобової поверхні з ціллю аналізу розподілення зусиль на тильній поверхні розглянемо їх в розкладанні на три взаємно перпендикулярні вісі (рис. 7)

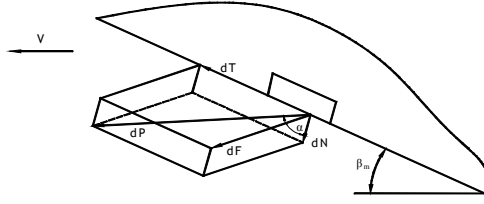


Рисунок 7 – Схема сил, які діють на елементарну площадку тильної (задньої) поверхні

Система сил, які діють на елементарну площадку визначаються рівнянням

$$\begin{cases} dN_m = dP \cdot \cos \alpha; \\ dT_m = dP \cdot \cos(90 - \alpha) \cdot \cos \alpha; \\ dF_m = dP \cdot \cos(90 - \alpha) \cdot \sin \alpha. \end{cases}$$

Оскільки тильна поверхня однозначно орієнтована по відношенню до напрямку руху наральника (V) під кутом  $\beta_m$ , то кут атаки для всієї поверхні дорівнює

$$\alpha = \beta_m$$

Тоді виконавши перетворення і підставивши значення dP, систему рівнянь можна записати у вигляді

$$\begin{cases} dN_m = \sigma_0 \cdot \sin \beta_m \cdot \frac{c_m - \frac{n-1}{n} l_m}{c_m} h \cdot dl_m \cdot \cos \beta_m; \\ dT_m = \sigma_0 \cdot \sin^2 \beta_m \cdot \frac{c_m - \frac{n-1}{n} l_m}{c_m} h \cdot dl_m \cdot \cos \beta_m; \\ dF_m = \sigma_0 \cdot \sin \beta_m \cdot \frac{c_m - \frac{n-1}{n} l_m}{c_m} h \cdot dl_m \cdot \sin^2 \beta_m. \end{cases}$$

Звідки після нескладних перетворень маємо в інтегральному вигляді

$$\begin{cases} N_m = \frac{1}{2} \sigma_0 \cdot \sin 2\beta_m \cdot h \cdot \frac{1}{c_m} \int_{l_m=0}^{l_m=c_m} \left( c_m - \frac{n-1}{n} l_m \right) dl_m; \\ T_m = \sigma_0 \cdot \sin^2 \beta_m \cdot h \cdot \frac{1}{c_m} \int_{l_m=0}^{l_m=c_m} \left( c_m - \frac{n-1}{n} l_m \right) dl_m; \\ F_m = \sigma_0 \cdot \sin^3 \beta_m \cdot h \cdot \frac{1}{c_m} \int_{l_m=0}^{l_m=c_m} \left( c_m - \frac{n-1}{n} l_m \right) dl_m. \end{cases}$$

Розв'язанням інтеграла, який входить в рівняння системи являється

$$\begin{aligned} \int_{l_m=0}^{l_m=c_m} \left( c_m - \frac{n-1}{n} l_m \right) dl_m &= \int_{l_m=0}^{l_m=c_m} c_m dl_m - \int_{l_m=0}^{l_m=c_m} \frac{n-1}{n} l_m dl_m = c_m \cdot l_m \Big|_{l_m=0}^{l_m=c_m} - \frac{n-1}{n} \cdot \frac{1}{2} \cdot l_m^2 \Big|_{l_m=0}^{l_m=c_m} = \\ &= c_m \cdot c_m - \frac{n-1}{2n} \cdot c_m^2 = c_m^2 \left( 1 - \frac{n-1}{2n} \right) = c_m^2 \left( \frac{2n-n+1}{2n} \right) = c_m^2 \left( \frac{n+1}{2n} \right) = \frac{c_m^2}{2n} (n+1) \end{aligned}$$

Підставивши розв'язок, маємо

$$\begin{cases} N_m = \frac{1}{2} \sigma_0 \cdot \sin 2\beta_m \cdot h \cdot c_m \cdot \frac{n+1}{2n}; \\ T_m = \sigma_0 \cdot \sin^2 \beta_m \cdot h \cdot c_m \cdot \frac{n+1}{2n}; \\ F_m = \sigma_0 \cdot \sin^3 \beta_m \cdot h \cdot c_m \cdot \frac{n+1}{2n}. \end{cases}$$

Таким чином проведені дослідження мають функціональні залежності між зусиллями, які діють на робочі поверхні сошника і його геометричними параметрами. Отримані результати можна використовувати для визначення тягового опору наральникового сошника та для аналізу умов стійкості заглиблення при його русі в ґрунті.

### Список літератури

1. Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные детали машин. БТИ, ГОСНИТИ, 1962.
2. Бойко А.И. Исследование и обоснование параметров режущего инструмента высокой стойкости для погрузчиков силоса и грубых кормов. Автореферат диссертации КТН.- М., 1979.
3. Рабинович А.Ш. Мнтод определения эпюры давления почвы на стабильный профиль лезвия. Сб. Работ ВИМ., вып. 11, 1959.
4. Прокопцев П.И. Определение сил, действующих на нож при резании с оскольжением.- Доклады МИИСП, Т.2, вып.5, серия „Техническая механика”, М., 1965.
5. Гячев Л.В. Теория лемешо-отвальной поверхности. Труды АЧИМСХ, вып.13, Зерноград, 1961.

В статье рассмотренные эпюры напряжения, которые действуют на рабочую часть наральникового сошника. Приведенные уравнения для определения составных усилий сопротивления перемещения и силы, которые обуславливают изнашивание поверхностей сошника.

In the article the considered epures tensions which operate on working part of naral'nykovogo soshnyka. Resulted equalizations for determination of component efforts of resistance moving and forces which stipulate the wear of surfaces of soshnyka.